

Penentuan Koefisien Redaman Getaran Bahan

Pelapis Plat Dek Kapal

— (Kajian Eksperimental) —

Wibowo. H. Nugroho¹

Abstrak

Problem getaran kapal saat ini semakin kompleks dan sering terjadi ditambah pula semakin ketatnya persyaratan dari biro klasifikasi kapal untuk tingkat getaran yang diijinkan agar penumpang dan awak kapal semakin nyaman dan aman. Secara umum getaran yang berlebih dapat mempercepat kelelahan struktur kapal, juga menyebabkan kerusakan atau tak berfungsi dengan baik peralatan mekanik dan listrik yang terdapat di atas kapal serta berkurangnya kenyamanan penumpang dan awak kapal. Salah satu metode untuk mengurangi pengaruh getaran struktur kapal adalah dengan melakukan pengurangan terhadap respon dari getaran tersebut dengan menggunakan peredam(damper). Pada paper ini dijelaskan metode penentuan koefisien redaman(damping) getaran dari peredam berbahan semen pelapis plat dek kapal di laboratorium uji getaran. Pengujian dilakukan dengan menggunakan martil impak (impact hammer) dan respon plat diukur oleh accelerometer. Secara umum sifat – sifat bahan pelapis ini tetap melekat pada material utama pembangunnya yaitu beton atau “ concrete” hal ini diperlihatkan dari nilai koefisien redaman (ζ) yang diperoleh pada uji getaran yaitu untuk material Deck Screed (DS) ~ 0.083482 dan Deck Compound (DC) adalah ~ 0.083182. Nilai koefisien redaman ini sedikit lebih tinggi dari rata – rata koefisien redaman dari bahan semen coran dengan penguatan (Reinforced Concrete Structure) pada umumnya yaitu berkisar antara 0,04 – 0,07.

Kata kunci : getaran kapal, koefisien redaman, peredam getaran

Abstract

Ship vibration problems today's increasingly complex and often occurs in addition to the strict requirements of ship classification agencies for allowable levels of vibration so that passengers and crew more comfortable and secure. In general, excessive vibration can accelerate ship structural fatigue, also caused damage or not functioning properly mechanical and electrical equipment located on board and reduced passenger and crew comfort. One method for reducing the influence of ship structural vibration is to minimize the response of the vibration by using damper. This paper describes a method of determining the damping coefficient of damper made of cement in the vibration test laboratory. Tests conducted by using an impact hammer and the plate response is measured by an accelerometer. In general, the main properties of the damper coating material is still related to the concrete in which shown on the damping coefficient (ζ) obtained in the vibration test for material Deck Screeds (DS) ~ 0.083482 and Deck Compound (DC) is ~ 0.083182. Damping coefficient is slightly higher than - average damping coefficient of the material with reinforced concrete structure which generally ranged between 0.04 to 0.07.

Keywords : ship vibration, damping coefficient, vibration damper

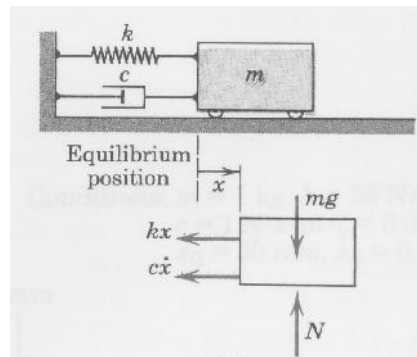
PENDAHULUAN

Problem getaran kompleks dan sering terjadi dimana juga semakin ketatnya persyaratan dari biro klasifikasi kapal untuk tingkat getaran yang diijinkan agar penumpang dan awak kapal semakin nyaman dan aman. Maka untuk mengatasi problem getaran diperlukan riset yang mendalam berupa terapan dari pengetahuan akan karakteristik dari getaran tersebut. Getaran dan suara yang berlebih melampaui standard yang diijinkan pada struktur badan kapal merupakan suatu permasalahan yang sering ditemui oleh para operator kapal dimana hal ini sangat mempengaruhi kehandalan konstruksi dan kenyamanan awak serta penumpang kapal. Secara umum getaran dapat mempercepat kelelahan struktur kapal, juga menyebabkan kerusakan atau tak berfungsi dengan baik peralatan mekanik dan listrik yang terdapat di atas kapal serta berkurangnya kenyamanan penumpang dan awak kapal. Seperti diketahui tingkat getaran dan suara dibagi dalam tiga daerah (Zone), daerah I dimana tingkat getaran dan suara cukup rendah dan tidak ada keluhan dari orang yang berada di atas kapal, kemudian daerah II dimana tingkat getaran dan suara sedikit terasa dan mulai ada keluhan dari beberapa orang sedangkan untuk daerah III dimana tingkat getaran dan suara beserta reaksi dari penumpang dan awak sangat terasa dan terdapat keluhan secara umum. Berbagai cara untuk mengurangi atau mengendalikan pengaruh getaran dan suara ini pada struktur kapal seperti mengurangi sumber getaran atau suara, melakukan isolasi terhadap sumber atau peralatan dan terakhir melakukan pengurangan terhadap respon dari getaran dan suara tersebut. Pada paper ini dijelaskan metode penentuan koefisien redaman(damping) getaran dari peredam berbahan semen pelapis plat dek kapal di laboratorium. Pengujian dilakukan dengan menggunakan martil impak (impact hammer) dan respon plat diukur oleh accelerometer. Secara garis besar penulisan ini dapat digunakan untuk memperkaya bidang keilmuan getaran kapal.

GETARAN BEBAS BERPEREDAM

Untuk mendapatkan nilai dari koefisien redaman(ζ) hanya bisa melalui eksperimen. Eksperimen yang dilakukan adalah dengan mengeksitasi specimen plat dengan beban impak melalui pukulan martil (impact hammer). Untuk memahami dasar pemikiran dari eksperimen ini maka pada bahagian ini akan dijelaskan teori tentang getaran

bebas berperedam. Sistem Getaran bebas berperedam ini mempunyai peredam. Peredam ini mengakibatkan getaran sistem lama kelamaan akan berhenti jika terjadi gangguan terhadap keseimbangan sistem. Peredam biasanya ditampilkan dengan sebuah silinder yang berisi cairan kental (viscous fluid) dimana cairan tersebut akan bergerak dari satu sisi silinder itu ke sisi yang lain. Dengan demikian peredam tersebut dinamakan peredam berkekentalan (viscous damping). Diagram benda bebas untuk sistem pegas – peredam - massa ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sebuah massa dengan pegas dan peredam

Persamaan matematika dari diagram benda bebas di atas dapat ditulis dengan:

$$-kx - c\dot{x} = m\ddot{x} \quad \text{atau} \quad (1)$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$$

jika $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ adalah frekuensi pribadi dari sistem

dan $\zeta = \frac{c}{2m\omega_n}$ merupakan faktor redaman kental atau rasio redaman. Sehingga persamaan di atas dapat ditulis sebagai :

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = 0 \quad (2)$$

untuk menyelesaikan persamaan ini maka diasumsikan penyelesaian x dalam bentuk $x = Ae^{\lambda t}$ jika bentuk ini disubstitusikan ke persamaan kembali dapat diperoleh persamaan karakteristik.

$$\lambda^2 + 2\zeta\omega_n\lambda + \omega_n^2 = 0 \quad (3)$$

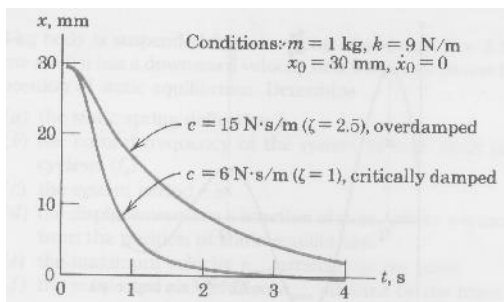
dimana akar – akarnya adalah $\lambda_1 = \omega_n \left[-\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1} \right]$ dan $\lambda_2 = \omega_n \left[-\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1} \right]$

dengan superposisi maka diperoleh :

$$x = A_1 e^{\lambda_1 t} + A_2 e^{\lambda_2 t} = A_1 e^{\left(-\zeta + \sqrt{\zeta^2 - 1}\right)\omega_n t} + A_2 e^{\left(-\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1}\right)\omega_n t} \quad (4)$$

Karena $0 \leq \zeta \leq \infty$, maka $(\zeta^2 - 1)$ bisa bernilai positif, negatif bahkan nol, hal ini menyebabkan adanya 3 jenis redaman. Pertama adalah pada kondisi dimana $\zeta > 1$ hal ini disebut dengan redaman berlebihan (over damped), dan $\lambda_1 \neq \lambda_2$ serta keduanya negatif. Jika akar – akar karakteristik ini disubstitusikan ke persamaan terakhir di atas, pada kondisi $t \gg 0$ maka $x = 0$ dimana tak terjadi gerakan osilasi dan periode dari gerakan tersebut. Selanjutnya kondisi dimana $\zeta = 1$ atau biasa disebut dengan redaman kritis (critically damped), dan $\lambda_1 = \lambda_2$ serta keduanya negatif. Kondisi ini dapat dikatakan dimana $\lambda_1 = \lambda_2 = -\omega_n$ merupakan frekuensi pribadi dari sistem. Amplitudo pada kondisi ini berlaku $x = (A_1 + A_2)e^{-\omega_n t}$ dimana untuk waktu yang lama saat sistem $x = 0$ gerakan tidak periodis lagi. Gambar 3 menunjukkan bahwa sistem dengan kondisi redaman kritis, apabila di beri gaya eksitasi dengan kecepatan awal (V_0) atau perpindahan awal (X_0) atau keduanya, maka sistem tersebut akan menuju titik kesetimbangan (equilibrium) lebih cepat dari sistem dengan redaman berlebih. Angka terakhir adalah kondisi yang disebut dengan sistem teredam (underdamped) dimana $\zeta < 1$ sehingga $(\zeta^2 - 1)$ adalah negatif dan $e^{(a \pm b)} = e^a e^{\pm b}$ maka persamaan di atas dapat ditulis menjadi :

$$x = \left\{ A_1 e^{i\sqrt{1-\zeta^2}\omega_n t} + A_2 e^{-i\sqrt{1-\zeta^2}\omega_n t} \right\} e^{-\zeta\omega_n t} \quad (5)$$



Gambar 2. Getaran dengan berbagai kondisi redaman

jika $i = \sqrt{-1}$ dan $\omega d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$, maka persamaan di atas menjadi:

$$x = \left\{ A_1 e^{i\omega_d t} + A_2 e^{-i\omega_d t} \right\} e^{-\zeta\omega_n t} \quad (6)$$

bila digunakan formula Euler $e^{\pm i x} = \cos x \pm i \sin x$

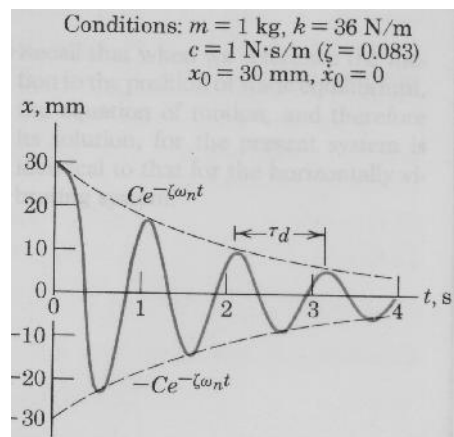
sehingga persamaan di atas dapat ditulis menjadi:

$$\begin{aligned} x &= \{A_1 (\cos \omega_d t + i \sin \omega_d t) + A_2 (\cos \omega_d t - i \sin \omega_d t)\} e^{-\zeta\omega_n t} \\ &= \{(A_1 + A_2) \cos \omega_d t + (A_1 - A_2) \sin \omega_d t\} e^{-\zeta\omega_n t} \\ &= \{A_3 \cos \omega_d t + A_4 \sin \omega_d t\} e^{-\zeta\omega_n t} \end{aligned} \quad (7)$$

dimana $A_3 = (A_1 + A_2)$ dan $A_4 = i(A_1 - A_2)$, sehingga persamaan ini dapat ditulis sebagai berikut :
atau

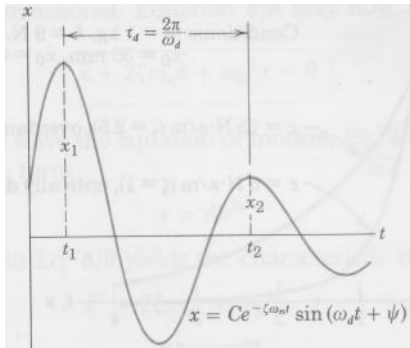
$$x = C e^{-\zeta\omega_n t} \sin(\omega_d t + \psi) \quad (8)$$

dimana frekuensi redaman sebesar $\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$ dan periode redaman adalah $\omega_d = 2\pi / (\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2})$. Bilangan tetap C dan ψ dapat diperoleh dengan menentukan x dan \dot{x} saat $t = 0$ yaitu x_0 dan \dot{x}_0 . Terlihat pada Gambar 3 persamaan ini menggambarkan fungsi harmonis yang melemah secara eksponensial.



Gambar 3. Fungsi harmonis yang melemah secara eksponensial

Model persamaan ini dan Gambar 3 dapat dipakai untuk mendapatkan rasio redaman dari suatu sistem redaman ($\zeta < 1$) dengan melakukan percobaan. Hal ini diperlukan karena biasanya koefisien redaman dari suatu sistem tak diketahui. Percobaan ini biasanya dilakukan dengan memberikan gaya awal pada sistem kemudian perpindahan x diplot terhadap waktu getar t sehingga menghasilkan grafik yang diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Plot perpindahan x terhadap waktu getar sistem teredam

Dari Gambar 4 perbandingan amplitudo:

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{Ce^{-\zeta\omega_n t_1}}{Ce^{-\zeta\omega_n (t_1 + \tau_d)}} = e^{\zeta\omega_n \tau_d} \quad (9)$$

jika rasio logaritma didefinisikan sebagai :

$$\delta = \ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) = \zeta\omega_n \tau_d = \zeta\omega_n \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} \quad (10)$$

sehingga rasio redaman ζ adalah:

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{(2\pi)^2 + \delta^2}} \quad (11)$$

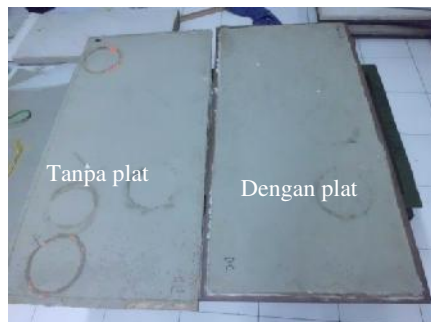
untuk rasio redaman yang sangat kecil dimana $X_1 \approx X_2$ dan $\delta \ll 1$ sehingga $\zeta \approx \delta / 2\pi$. Ini berarti jika X_1 dan X_2 mempunyai selisih nilai yang terlalu kecil maka hasil percobaan tak dapat dipakai. Untuk hal yang demikian analisa di atas dapat dilakukan dengan mengamati rentang perioda yang lebar.

PENGUKURAN GETARAN

Pengujian redaman getaran ini dilaksanakan di Laboratorium Getaran dan Akustik T. Fisika ITS. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain ; (1) Impact Hammer B&K 202, (2) Accelerometer 603C01, (3) NI cDAQ - 9178, (4) Laptop, (5) Software NI Sound And Vibration Assistant. Pengukuran getaran dari specimen dilaksanakan sebagai berikut;

1. Specimen yang akan diuji vibrasinya dipersiapkan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5 kemudian diletakkan di atas meja penyangga.

2. Di salah satu ujung specimen dipasang *Accelerometer* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.
3. Salah satu ujung specimen lainnya diberi gaya dengan menggunakan Martil impact.
4. Tiap specimen di ukur sebanyak lima kali pengukuran dalam selama dua detik tiap pengukuran.
5. Specimen yang diberi plat maka pengukuran dilakukan pada dua titik, yaitu ujung plat dan ujung bahan.
6. Accelerometer dan Impact Hammer dihubungkan ke NI cDAQ-9178, untuk menampilkan hasil pengukuran. (diperlihatkan pada Gambar 7)
7. Hasil yang ditampilkan pada *Software NI Sound and Vibration* untuk *Accelerometer* berupa grafik yang menunjukkan redaman yang terjadi dalam satuan *Acceleration*.
8. Untuk mengetahui besarnya nilai redaman yang terjadi, dengan membandingkan secara logaritmik besar *peak* pertama dan *peak* selanjutnya.



Gambar 5. Perbedaan specimen menggunakan plat (kanan) dan tanpa plat (kiri)



Gambar 6. Konfigurasi *accelerometer* di ujung specimen



Gambar 7. Konfigurasi accelerometer dan martil impak di tiap ujung specimen

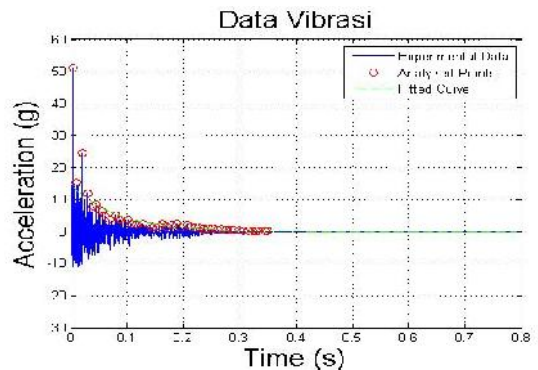


Gambar 8. Konfigurasi laptop dan NI cDAQ – 9178 serta software sound and vibration

DATA & ANALISA PENGUKURAN GETARAN

Bahan utama specimen adalah plat baja, Sika Deck Compound(DC) dan Sika Deck Screed (DS). Pengujian dilakukan untuk 8 (delapan) specimen dengan ukuran sbagai berikut; specimen1 berupa beton tipis (DC) (1000 x 500 x 20)(mm³); specimen2 berupa beton tipis ((1000 x 500 x 20) mm³ (DC)) diatas plat (1000 x 500 x 120) mm³; specimen 3 berupa beton tebal (1000 x 500 x 50) mm³ (DC)) diatas plat (1000 x 500 x 120) mm³; specimen 4 berupa beton tebal (DC) 1000 x 500 x 50 mm³ (DC); specimen 5 berupa beton tipis (DS) 1000 x 500 x 20 mm³ diatas plat (1000 x 500 x 120) mm³; specimen 6 berupa beton tipis (DS) 1000 x 500 x 20 mm³; specimen 7 berupa beton tebal (DS) 1000 x 500 x 50 mm³; specimen 8 berupa beton tebal (DS) 1000 x 500 x 50 mm³ diatas plat (1000 x 500 x 120) mm³. Pada saat pengambilan data, specimen yang digunakan diberi label mulai dari specimen hingga specimen delapan. Dimana specimen 1 dan 2 sejenis, namun specimen 2 telah diberi plat. Sedangkan specimen 3 sejenis dengan specimen 7, dimana specimen 3 adalah

specimen yang diberi plat. Begitupula specimen 4 yang sejenis dengan specimen 8 yang telah diberi plat. Dan terakhir adalah specimen 5 yang telah dilapisi plat yang sejenis dengan specimen 6 tanpa plat. Perhitungan peak to peak dihitung dari peak kedua ke peak ketiga untuk menghindari data yang clipping akibat keterbatasan alat ukur accelerometer. Contoh data hasil pengukuran redaman dengan peak to peak diperlihatkan pada Gambar 9. Rekapitulasi rata-rata pengukuran redaman dB getaran dari keseluruhan specimen dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 9. Contoh data hasil pengukuran getaran

Tabel 1. Rekapitulasi rata-rata data redaman(dB)

Spesimen Ke	Data ke X(n)					Rata2 Perbandingan Peak (b) $\ln(x/y) (X(1)+X(2)+...+X(5))/5$
	1	2	3	4	5	
1 (tanpa plat)	0.340521	0.426109	0.397775	0.454758	0.450888	0.41401
2	Luar Plat 0.50323	0.584394	0.491365	0.676978	0.651887	0.581571
	Plat 0.362418	0.446051	0.33458	0.26514	0.457279	0.373094
3	Luar Plat 0.888113	0.73173	0.721534	0.744622	0.670977	0.751395
	Plat 0.599713	0.641309	0.47132	0.628743	0.514836	0.571184
4 (tanpa plat)	0.453707	0.434881	0.657463	0.26277	0.478746	0.457513
5	Luar Plat 0.722664	0.523414	0.342319	0.520687	0.500179	0.521853
	Plat 0.566013	0.450108	0.388993	0.533547	0.783453	0.544423
6 (tanpa plat)	0.43518	0.621635	0.522801	0.476231	0.408283	0.492826
7 (tanpa plat)	0.369564	0.187396	0.856228	0.876518	0.425499	0.543041
8	Luar Plat 0.456359	0.297087	0.553435	0.876518	0.512415	0.539163
	Plat 0.37244	0.624865	0.440351	0.527732	0.619359	0.516949

Dari hasil yang didapat, specimen pertama mempunyai nilai redaman vibrasi rata-rata sebesar 1,798 dB, sedangkan specimen dua yang sudah diberi plat nilai redaman bertambah menjadi 2,526 dB sedangkan redaman di plat sebesar 1,620 dB. Specimen tujuh yang lebih tebal dari specimen pertama mempunyai nilai redaman vibrasi rata-rata sebesar 2,688 dB, sedangkan specimen tiga yang telah diberi plat redaman menjadi 3.263 dB dan redaman pada plat

sebesar 2.481 dB. Spesimen empat yang memiliki tebal paling besar memiliki redaman sebesar 1,987 dB, dan setelah diberi plat yaitu Spesimen 8 mempunyai redaman sebesar 2.342 dB dan redaman pada plat sebesar 2,245 dB. Pada Spesimen 6 mempunyai redaman 2,140 dB, sedangkan setelah diberi plat pada specimen 5 mempunyai nilai redaman sebesar 2.266 dan redaman pada plat sebesar 2.364. Spesimen yang memiliki koefisien redam yang paling baik sebelum diberi plat adalah spesimen 7 yaitu 2.358 dB, dan yang paling buruk adalah spesimen 1 sebesar 1.798 dB yang merupakan spesimen paling tipis. Sedangkan setelah diberi plat koefisien redam yang paling baik sebesar 3.263 diluar plat dan 2.481 pada plat yaitu spesimen 3 yang sejenis dengan spesimen 7.

Untuk hasil pengukuran dan perhitungan koefisien redaman sesuai dengan dasar teori yang dijelaskan sebelumnya yaitu persamaan (11) dimana hasil perhitungannya diperlihatkan pada Tabel 2 di bawah ini dan diperoleh nilai redaman rata – rata untuk material Deck Screed (DS) ~ 0.083482 dan Deck Compound (DC) adalah ~ 0.083182, Nilai koefisien redaman ini sedikit lebih tinggi dari rata – rata koefisien redaman dari bahan semen coran dengan penguatan (Reinforced Concrete Structure) pada umumnya yaitu berkisar antara 0,04 – 0,07.

Tabel 2. Rata – rata koefisien redaman ζ

Spesimen Ke		$\delta = \ln(x/y)$ $\{X(1)+X(2)+\dots+X(5)\}/5$	$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{(2\pi)^2 + \delta^2}}$
1 (DC)	(tanpa plat)	0.41401	0.065749
2 (DC)	Luar Plat	0.581571	0.092166
	Plat	0.373094	0.059275
3(DC)	Luar Plat	0.751395	0.118742
	Plat	0.571184	0.090533
4 (DC)	(tanpa plat)	0.457513	0.072623
5(DS)	Luar Plat	0.521853	0.08277
	Plat	0.544423	0.086324
6 (DS)	(tanpa plat)	0.492826	0.078196
7 (DS)	(tanpa plat)	0.543041	0.086107
8 (DS)	Luar Plat	0.539163	0.085496
	Plat	0.516949	0.081998

KESIMPULAN

Melalui kajian eksperimental pengukuran koefisien redaman bahan pelapis dek kapal ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut;

- Penambahan material redaman jenis semen pada dek kapal membuat sistem lebih kaku hingga frekuensi natural membesar dan eksitasi getaran akan cepat teredam, hal ini

diperlihatkan dengan semakin tebal lapisan semakin besar redaman yang terjadi.

- Secara umum sifat – sifat bahan pelapis ini tetap melekat pada material utama pembangunnya yaitu beton atau “ concrete” hal ini diperlihatkan dari koefisien –redaman (ζ) pada uji getaran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih sebesar besarnya kepada tim lapangan PKPP 2012 UPT – BPPH, BPPT atas persiapan spesimen ujinya, begitu juga kepada PT. Sika Indonesia, dalam hal ini Bpk. Toni H Istanto selaku Bussiness Industry Manager atas bantuan material pelapis dek kapal, serta kepada Laboratorium Getaran dan Akustik T. Fisika ITS atas berlangsungnya pengujian dan kepada RISTEK atas bantuan dana penelitian melalui PKPP 2012.

DAFTAR PUSTAKA

- Nugroho, Wibowo H,” Diktat Kuliah Mekanika Getaran dan Akustik”, Fakultas Teknik UMSIDA,2008
- Nugroho, Wibowo H , et al, “PENGUKURAN KOEFISIEN REDAMAN AKUSTIK DAN VIBRASI, Material DeckCompound (DC) dan Deck Screed (DS) PT. Sika Indonesia, 2012
- Meriem J.L. and Kraige,L.G. “ Vibration and Time Response”, Engineering Mechanics Vol 2, DYNAMICS”, Chap 8(1987)
- V. Adams and A. Askenazi,’ Building Better Products with Finite Element Analysis,” On Word Press, Santa Fe, N. M .., 1999